

## Effect of Cutting Parameter Variation on Drilling of AISI 1045: Experimental and Simulation

Yanuar Burhanuddin, Suryadiwansa Harun, Arinal Hamni

Jurusan Teknik Mesin – Universitas Lampung

Gedung H – Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung 35145

Telp. (0721) 3555539

E-mail: yanuar@unila.ac.id

### Abstract

This work is focused on the study of the effect of spindle speed and feed rate on the tool temperature distribution in the drilling of AISI-1045 steel. The data were collected under different cutting conditions. The maximum tool temperature is predicted during the drilling using finite element simulation techniques. The predicted temperature was compared to the measured temperature. The result shows the finite element simulation is reasonable. Analyses show that the range of temperature from 157 °C to 288 °C. The difference between measured temperature and simulated temperature are in the range of 17-38%. The increase in accordance with the increasing of cutting speed and feed.

**Keywords:** drilling, spindle speed, feed, tool edge, maximum temperature

Pengurdian (*drilling*) adalah proses pemessinan yang sudah biasa digunakan, terhitung 40-60% dari seluruh proses pembuangan material [1]. Proses pengurdian adalah proses pembuatan sebuah lubang dalam sebuah objek dengan menekan sebuah mata pahat yang berputar pada objek tersebut. Pada setiap proses pembuangan material akan timbul panas dan akibatnya suhu di daerah deformasi pertama menaik. Panas ini akan dipindahkan ke geram dan pahat. Panas pada geram akan dibuang bersama-sama geram yang terputus. Sedangkan pahat akan menerima panas yang terus menerus dan bila pahat tidak didinginkan dengan cepat maka kekuatan pahat akan berkurang. Menurunnya kekuatan akan mempercepat pahat mengalami keausan.

Para peneliti di waktu lalu telah meneliti distribusi suhu pada pahat dan pengaruhnya terhadap keausan pahat baik secara eksperimental maupun analitik [1]. Namun penyelidikan secara eksperimental dan analitik memerlukan banyak biaya dan waktu. Oleh karena itu peneliti sekarang ini beralih menggunakan simulasi elemen hingga untuk

mengkaji suhu pada proses pemessinan.

Banyak kajian untuk bubut dan freis menggunakan simulasi elemen hingga. Zouhar dan Piska [2], Burhanuddin dan Harun [3], Filice dkk [4] serta Duan dkk [5] melakukan penelitian simulasi berbasis elemen hingga pada proses bubut.

Sementara Ozel dan Altan [6], Deng dan Xia meneliti distribusi suhu pada pahat dan benda menggunakan proses freis. Namun masih sangat sedikit yang melakukan penelitian simulasi pemessinan berbasis elemen hingga pada proses gurdi. Kertas kerja ini bermaksud membahas pengaruh parameter pemotongan terhadap distribusi suhu pada pahat gurdi menggunakan simulasi elemen hingga.

### Metode Penelitian

#### Pahat

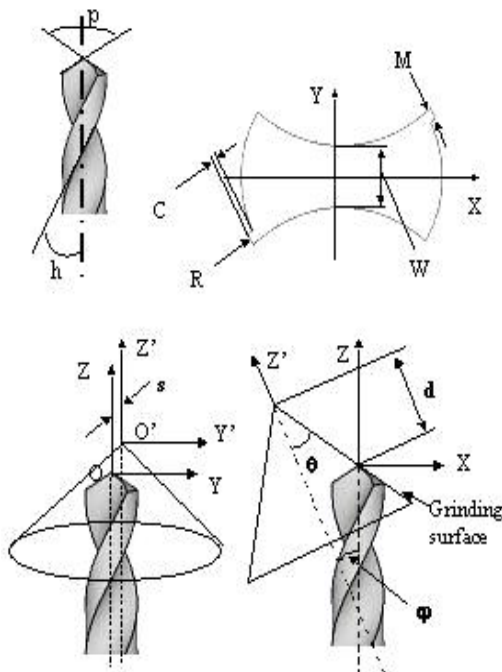
Data sifat-sifat bahan pahat yang digunakan adalah data High Speed Steel (HSS). Data sifat-sifat bahan pahat HSS dapat

dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Data sifat-sifat bahan pahat HSS.

High Speed Steel (HSS)	
Kandungan karbon	0,70 % - 1,50 %
Unsur paduan	Chrome (Cr) dan Tungsten (W)

Dimensi pahat yang digunakan pada simulasi ini adalah variabel tetap. Dimensi pahat selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 2.



Gambar 1. Dimensi pahat.

Tabel 2. Dimensi model pahat.

R = 5 mm	M = 0.4 mm	$\theta = 30^\circ$
W = 1.8 mm	C = 0.2 mm	d shift = 5.5 mm
h = 30°	p = 118°	s shift = 1 mm

### Benda Kerja

Benda kerja mempunyai dimensi: diameter 100 mm dan tingginya 40 mm. Data sifat-sifat benda kerja yang digunakan adalah baja karbon sedang tipe AISI-1045, dengan sifat-sifat sebagai berikut.

Tabel 3. Sifat-sifat baja karbon AISI 1045.

Flow stress	Regangan: 0.05 - 5
	Laju Regangan: 1 - 500000
	Suhu: 20 - 1200°C
Modulus Young	Suhu: -100 - 1500°C
Rasio Poisson	Konstan (0.3)
Ekspansi Termal	Suhu: -100 - 1500°C
Konduktivitas Termal	Suhu: 20 - 1500°C
Heat Capacity	Suhu: -100 - 1500°C
Emisivitas	Konstan
Fracture	Normalized Cockroft & Latham
Yield Strength, BP 0.2	305 N/mm (30 kg/mm <sup>2</sup> )
Tensile Strength, Rm	580 N/mm (58 kg/mm <sup>2</sup> )
Hardness	200 Brinell

### Pembagian Elemen (Meshing)

Tipe elemen yang digunakan pada DEFORM 3D adalah tipe elemen tetrahedral. Pada penelitian ini jumlah elemen yang digunakan untuk pahat adalah 15000 elemen sedangkan untuk benda kerja adalah 20000 elemen.

### Penentuan Kondisi Simulasi

Agar permasalahan lebih spesifik, maka perlu dibuat beberapa kondisi simulasi. Pemodelan dibuat secara simetri terhadap bidang xyz. Pemodelan simetri ini dapat mempermudah pengerjaan analisis yang dilakukan secara komputasi.

Pada *process condition*, *convection coefficient* adalah 0.05 N/sec/mm<sup>2</sup>°C dan *shear friction factor* yang digunakan adalah 0.5 (m =

0.5 N/sec/mm°C).

Pada tool setup, desain pahat dan metode posisi ditentukan dan pemilihan material pahat HSS, kemudian pembagian elemen pahat sebesar 12000 elemen. Pada workpiece setup, benda kerja diasumsikan bersifat plastic dengan suhu 25°C. Benda kerja berbentuk silinder yang mempunyai diameter 100 mm dan ketebalannya 40 mm, kemudian pembagian elemen benda kerja sebesar 15000 elemen. Pemilihan material steel AISI 1045.

Jumlah step simulasi yang dilakukan sebanyak 8000 step dan langkah penyimpanan step sebanyak 100. Kedalaman potongnya 20 mm. Setelah melakukan penentuan kondisi simulasi, maka selanjutnya dapat dilakukan tahap simulator dengan analisis elemen hingga (*finite element analysis*) secara komputasi untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan. DEFORM 3D secara otomatis akan menentukan persamaan pada setiap node untuk mendapatkan solusi keluaran.

Tabel 4. Ringkasan parameter pemotongan dan kondisi batas simulasi.

Kecepatan putar	433 rpm 635 rpm 970 rpm
Gerak makan	0.10 mm/rev 0.18 mm/rev 0.24 mm/rev
Shear friction factor	0.2
Coeficient Convection	0.05
Coulomb	0.2
Jumlah elemen pada pahat	12000 elemen
Jumlah elemen pada benda kerja	15000 elemen

Persamaan yang digunakan pada saat dijalankan adalah

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\epsilon}, \epsilon, T) \quad (1)$$

Euler-Lagrange Equation

$$\delta \int f[x(t), \dot{x}(t)] dt = 0 \Rightarrow \frac{d}{dt} \frac{df}{d\dot{x}} - \frac{df}{dx} = 0 \quad (2)$$

### Hasil dan Pembahasan

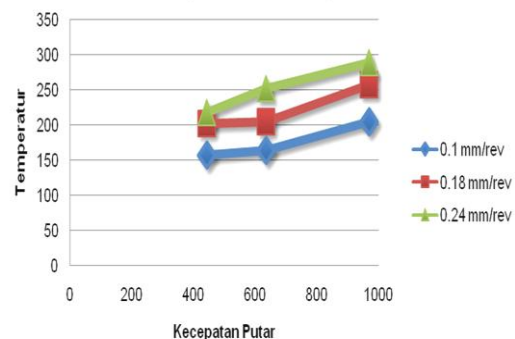
Berdasarkan data input simulasi penelitian suhu ada tepi pahat yang dilakukan maka didapatkan hasil suhu pada ujung pahat yang selengkapanya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data hasil simulasi suhu pahat.

No.	Rotational speed (rpm)	Feed Rate (mm/rev)	Suhu (°C)
1	433	0.10	157
2		0.18	202
3		0.24	217
1	635	0.10	164
2		0.18	204
3		0.24	252
1	970	0.10	204
2		0.18	257
3		0.24	288

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa pada kecepatan putar 970 rpm dan gerak makan 0.24 mm/rev didapatkan suhu tertinggi yaitu 288°C. Sedangkan pada suhu terendah (157°C) pada kecepatan putar 433 rpm dan gerak makan 0.10 mm/rev. diatas dapat kita lihat bahwa gerak makan 0.24 mm/rev mendapatkan suhu yang paling besar sebesar 288°C, sedangkan pada gerak makan 0.10 mm/rev mendapatkan suhu yang paling kecil sebesar 157°C.

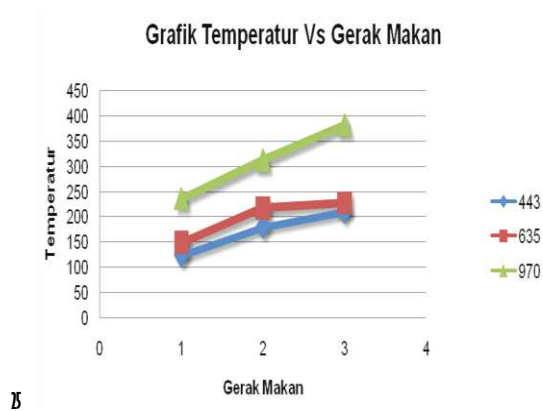
Grafik Temperatur Vs Kecepatan Putar



Gambar 2. Grafik suhu vs kecepatan putar.

Gambar 2 memperlihatkan grafik variasi kecepatan putar terhadap suhu pada berbagai gerak makan. Grafik-grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin meningkat kecepatan putar maka semakin besar meningkat pula suhu.

Kenaikan kecepatan akan menyebabkan sudut geser (*shear angle*) membesar. Naiknya sudut geser akan mengakibatkan energi pemotongan akan meningkat. Peningkatan energi pemotongan pada akhirnya akan menaikkan suhu pemotongan. Selain itu seiring dengan kenaikan kecepatan potong, gesekan antara pahat dengan geram akan menaikkan suhu secara kontinu sesuai dengan kedalaman potong. Sehingga dengan bertambahnya kecepatan putar maka gesekan material benda kerja dengan pahat gudi juga bertambah. Jadi dengan kecepatan putar bertambah dan gerak makan tetap, maka suhu yang didapatkan juga bertambah.



Gambar 3. Grafik suhu vs gerak makan.

Gambar 3 menunjukkan grafik variasi gerak makan terhadap suhu. Grafik-grafik tersebut juga menunjukkan bahwa semakin meningkat gerak makan maka semakin meningkat pula suhu. Dengan naiknya suhu akan menyebabkan terjadinya pelunakan pada material. Sehingga semakin besar gerak makan yang dibuat, daya pemotongan pada material juga akan mempercepat pelunakan pada material.

Sumber panas terjadi karena timbulnya

tegangan (*stress*) di daerah di sekitar konsentrasi gaya penekanan mata potong pahat. Tegangan pada benda kerja tersebut pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser (*shearing stress*) yang maksimum.

Apabila tegangan geser ini melebihi kekuatan logam yang bersangkutan maka akan mengalami deformasi plastis (perubahan bentuk), pahat akan menggeser dan memutuskan benda kerja di ujung pahat pada satu bidang geser (*shear plane*). Proses deformasi pada bidang geser memerlukan energi mekanik dan setelah proses ini terjadi maka energi mekanik berubah menjadi energi termal. Dari proses itulah panas didapatkan.

Selain dari panas yang disebabkan oleh energi mekanik pemotongan, panas pada pahat juga disebabkan karena adanya gesekan pahat dengan material. Panas ini didistribusikan ke geram, benda kerja terpotong, dan pahat. Keadaan bentuk geram yang tidak rata pada saat proses pemotongan akan membuat suhu pada pahat naik turun. Walaupun suhu pahat naik turun bila kedalaman potongnya semakin dalam maka suhu tetap naik.

### Pengaruh Material Benda Kerja

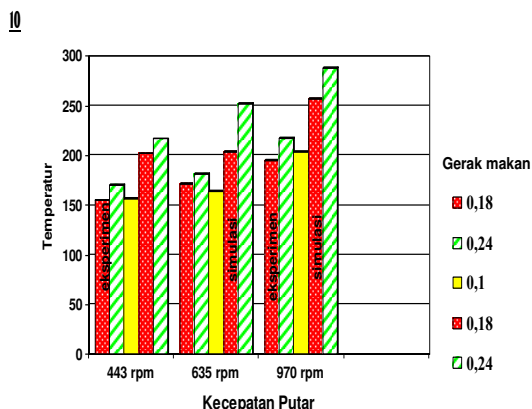
Selain kondisi pemotongan (kecepatan putar, kedalaman potong dan gerak makan) suhu juga dipengaruhi oleh material benda kerja. Secara umum terlihat bahwa semakin tinggi kekerasan benda kerja maka suhu yang didapatkan juga semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin keras benda kerja maka energi pemotongan yang terjadi antara pahat gudi dan benda kerja juga semakin besar sehingga suhu pemotongan meningkat, akibatnya keausan pahat akan semakin besar.

### Perbandingan Hasil Suhu Pahat Gudi Eksperimen dengan Simulasi

Penaksiran suhu pahat yang dilakukan secara simulasi dapat dibandingkan dengan hasil eksperimen. Nilai suhu pahat yang didapat dari pengujian mendekati hasil dari simulasi. Kedua hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6 dan pada Gambar 4.

Tabel 6. Perbandingan data hasil pengujian penaksiran suhu pahat secara eksperimen dan secara simulasi.

V rpm	f mm/rev	Hasil Eksperimen Suhu (°C)	Hasil Simulasi Suhu (°C)	Prosentase %
443	0.1	131	157	19
	0.18	155	202	30
	0.24	170	217	27
635	0.1	140	164	17
	0.18	172	204	18
	0.24	182	252	38
970	0.1	178	204	14
	0.18	195	257	31
	0.24	218	288	32



Gambar 4. Grafik perbandingan suhu pahat pada eksperimen dan simulasi.

Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan antara simulasi dan eksperimental mempunyai hasil suhu yang tidak jauh berbeda hasilnya, namun mempunyai hasil pada simulasi lebih tinggi daripada hasil pada eksperimental. Pada kecepatan 443 rpm dengan gerak makan 0.10,

0.18, 0.24 mm/rev secara eksperimental mempunyai hasil suhu yaitu 131, 155, dan 170 °C sedangkan secara simulasi mendapatkan hasil suhu yaitu 157, 202, dan 217 °C. begitu juga pada kecepatan 635 dan 970 rpm pada gerak makan 0.10, 0.18, dan 0.24 mm/rev secara eksperimental didapatkan suhu sebesar 140, 172, 182 °C dan 178, 195, dan 218 °C, sedangkan secara simulasi didapatkan hasil 164, 204, 252 °C dan 204, 257, serta 288 °C.

Tabel 6 memperlihatkan bahwa prosentase semakin meningkat seiring dengan bertambahnya gerak makan yang digunakan. pada kecepatan 635 rpm dan gerak makan 0.10 mm/rev didapatkan perbedaan hasil sebesar 17%, sedangkan pada gerak makan 0.24 mm/rev sebesar 38%. Secara keseluruhan prosentase yang paling rendah adalah 14% yang didapatkan pada kecepatan 970 rpm dan gerak makan 0.10 mm/rev, sedangkan prosentase yang paling besar adalah 38% yang didapatkan pada kecepatan 635 rpm dan gerak makan 0.24.

Perbedaan hasil antara simulasi dan eksperimental bisa disebabkan karena ukuran elemen yang relatif besar pada benda kerja di ujung mata pahat dibandingkan ujung pahat pemotongan, sehingga kesalahan perhitungan suhu yang dihasilkan dengan besar ujung pemotongan secara signifikan diperbesar oleh remeshing terus menerus.

Kemudian ekstrapolasi kesalahan data aliran tegangan material pada tingkat regangan dan suhu yang tinggi dan penggunaan model gesekan yang disederhanakan untuk permukaan geram juga mempengaruhi perbedaan hasil suhu pada ujung pahat. Pernyataan diatas diperkuat oleh Özel yang menyatakan keterbatasan dalam model material pada tingkat regangan yang sangat besar.

## Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian penaksiran suhu pahat secara simulasi, maka dapat disimpulkan antara lain:

- Setelah melakukan pengujian penaksiran suhu pahat secara simulasi suhu yang paling besar yaitu sebesar 288 °C sedangkan suhu yang paling kecil yaitu sebesar 157 °C.

2. Suhu pahat yang didapatkan pada kecepatan 443, 635 dan 970 rpm secara eksperimental tidak berbeda jauh dengan hasil prediktif yang didapatkan secara simulasi, tetapi hasil suhu secara simulasi mempunyai hasil yang tinggi bila dibandingkan dengan hasil yang dilakukan secara simulasi.
3. Semakin tinggi kecepatan putar yang dilakukan maka semakin tinggi pula suhu pahat yang didapatkan dalam pengujian, begitu juga semakin tinggi gerak makan yang dipakai pada saat pengujian maka suhu yang didapatkan juga semakin besar.
4. Prosentase perbandingan eksperimental dan simulasi pada kecepatan 635 dan 970 rpm dengan gerak makan 0.18 dan 0.24 mm/rev yang didapatkan mempunyai nilai yang besar. Hal ini disebabkan karena ukuran elemen yang relatif besar pada benda kerja di ujung mata pahat dibandingkan ujung pahat pemotongan, sehingga kesalahan perhitungan suhu yang dihasilkan dengan besar ujung pemotongan secara signifikan diperbesar oleh remeshing terus menerus.
- Daftar Pustaka**
- [1] Yang, Y. & Sun, J., 2009, "Finite Element Modeling and Simulating of Drilling of Titanium Alloy", *Proc. of 2009 Second International Conference on Information and Computing Science*, 178-181.
- [2] Zouhar, J. & Piska, M., 2008, "Modelling the orthogonal machining process using cutting tools with different geometry", *MM Science Journal*, 48-51.
- [3] Burhanuddin, Y & Harun, S., 2009, "Pemodelan Distribusi Suhu pada Kawasan Antarmuka Pahat Benda Kerja pada Pemotongan Menegak: Kajian Pendahuluan", *Prosiding Seminar Sehari Hasil-Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, Universitas Lampung,
- [4] Filice, L., Umbrello, D., Beccari, S. & Micari, F. , 2006, "On the FE codes capability for tool suhue calculation in machining processes", *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 174, 286-292.
- [5] Chunzheng Duan, Yujun Cai, Yuanyuan Li & Minjie Wang, 2009, "Finite Element Simulation of Cutting Suhue Field during High Speed Machining Hardened Steel Based on ABAQUS", *2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Intelligent Computation Technology and Automation*, 341-344.
- [6] Ozel, T. & Altan, T., 2000, " Process simulation using finite element method — prediction of cutting forces, tool stresses and suhues in high speed flat end milling", *Int. J. of Machine Tools & Manufacture* Vol. 40, 713-738.
- [7] Deng, W.J & Xia, W., 2008. Determine The Distribution and History of Workpiece Suhue For Dry Milling", *J. Advanced Manufacturing Systems*, Vol. 7, 279-282.
- [8] Chandika, R., 2010, "Prediksi Suhu Pahat Pada Proses Penggurdian (Drilling) Baja AISI 1045 Dengan Menggunakan Metode Simulasi Berbasis Metode Elemen Hingga", *Tugas Akhir Teknik Mesin*, Universitas Lampung, Bandar lampung.
- [9] Childs, T., Maekawa, K. , Obikawa, T. & Yamane, Y., 2000, *Metal Machining Theory and Applications*, Arnold Publishers, London.